

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CF (IND) A AVINASH

**INTEGRAÇÃO DE AERONAVES DE PATRULHA MARÍTIMA E
SISTEMAS AÉREOS NÃO TRIPULADOS EM OPERAÇÕES MARÍTIMAS
DISTRIBUÍDAS**

Rio de Janeiro

2025

CF (IND) A AVINASH

**INTEGRAÇÃO DE AERONAVES DE PATRULHA MARÍTIMA E
SISTEMAS AÉREOS NÃO TRIPULADOS EM OPERAÇÕES MARÍTIMAS
DISTRIBUÍDAS**

Dissertação apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores.

Orientador: CF ORRICO

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2025

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

A. Amador

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à Marinha do Brasil e à Marinha da Índia por proporcionarem a oportunidade de realizar este estimado Curso de Estado-Maior para Oficiais Superiores na Escola de Guerra Naval do Brasil. Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao corpo docente e à equipe da EGN, cujo conhecimento e orientação foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida da dissertação.

Estendo meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, CF Orrico, por sua mentoria, orientação dedicada, feedbacks perspicazes, correções de curso oportunas e incentivo constante durante o desenvolvimento deste trabalho.

Sou profundamente grato aos meus colegas e amigos do curso, cujas discussões estimulantes, críticas construtivas e apoio mútuo ao longo do curso contribuíram significativamente para a qualidade desta pesquisa. Gostaria de fazer uma menção especial e agradecer ao CF (URY) Nicolas Taramasco, ao CC (IM) Rildo Ruback e ao CC (FN) Danilo Alves por sua generosa assistência na revisão da linguagem, verificação de citações e formatação do trabalho.

Por último, mas não menos importante, meu sincero agradecimento à minha família por seu apoio inabalável, compreensão e paciência durante esta jornada. O incentivo e a motivação deles me deram força para perseverar em todas as etapas desta pesquisa.

We are in the middle of a fundamental change in the character of war...If you put in artificial intelligence and you do man-machine teaming, add that to robotics, put in precision munitions and the ability to sense and see, throw in a few hypersonic weapons and you have got a fundamental shift in the global battlefield.

- Gen Mark Milley
Chairman US Joint Chiefs, 2020

RESUMO

A crescente complexidade do campo de batalha marítimo, devido aos avanços tecnológicos, está redefinindo a estratégia operacional da força naval. O ambiente marítimo moderno é moldado pela automação, Antiacesso/Negação de Área (A2/AD), armas de longo alcance, guerra eletrônica e ameaças assimétricas persistentes. Esta dissertação explora a integração de Aeronaves de Patrulha Marítima de Longo Alcance (MPA) e Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS), enfatizando o conceito de Equipe Tripulada-Não Tripulada (MUM-T) no âmbito das Operações Marítimas Distribuídas (DMO). A pesquisa avalia como o emprego coordenado dessas plataformas modernas pode aprimorar a conscientização do domínio marítimo, a resposta rápida a ameaças e aumentar a capacidade de sobrevivência de ativos navais em ambientes altamente contestados.

O estudo começa estabelecendo os fundamentos teóricos de MUM-T e DMO, destacando a evolução do poder aéreo naval de operações centradas em plataformas para operações multidomínio em rede. Por meio da análise comparativa dos mais recentes MPA e UAS, como o P-8A Poseidon e o MQ-9B Sea Guardian, respectivamente, são estabelecidas as capacidades, a eficácia da missão e as limitações dessas plataformas. Análises de estudos de caso de inovações tecnológicas na integração de MPA e UAS por vários países são realizadas para identificar as experiências operacionais, os desafios e os requisitos tecnológicos críticos para a implementação bem-sucedida do MUM-T em DMO.

A pesquisa conclui que a implantação operacional de MPA e UAS integrados pode oferecer um potencial transformador para as forças navais, superando as limitações de cada plataforma, alinhando-se aos imperativos estratégicos da guerra naval moderna.

Palavras-chave: Tripulação Tripulada e Não Tripulada (MUM-T). Operações Marítimas Distribuídas (DMO). Aeronave de Patrulha Marítima (MPA). Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS). Vigilância Marítima. Sistema Autônomo. Interoperabilidade.

ABSTRACT

Integration of Maritime Patrol Aircraft and Unmanned Aerial Systems in Distributed Maritime Operations

The growing complexity of the maritime battle space due to technological advancements is redefining the operational strategy of naval force. The modern maritime environment is shaped by automation, Anti-Access/Area Denial (A2/AD), long-range weapons, electronic warfare and persistent asymmetric threats. This dissertation explores the integration of Long-Range Maritime Patrol Aircraft (MPA) and Unmanned Aerial Systems (UAS), emphasizing the concept of Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) within the sphere of Distributed Maritime Operations (DMO).

The study begins by establishing the theoretical foundations of MUM-T and DMO, highlighting the evolution of naval air power from platform centric to networked multi-domain operations. Through comparative analysis of latest MPA and UAS such as P-8A Poseidon and MQ-9B Sea Guardian respectively, the capabilities, mission effectiveness and limitations of these platforms is established. Case studies analysis of technological innovations in MPA and UAS integration by various countries is undertaken to identify the operational experiences, challenges and critical technological requirements for successful implementation of MUM-T in DMO.

The research concludes that integrated deployment of MPA and UAS can offer a transformative potential for naval forces by overcoming the individual platform limitations. The integrated operation can enhance sensor coverage, rapid threat response, precise lethal engagement with reduced crew risk in a dynamic maritime environment aligning with strategic imperatives of modern naval warfare.

Keywords: Manned-Unmanned Teaming (MUM-T). Distributed Maritime Operations. Maritime Patrol Aircraft (MPA). Unmanned Aerial System (UAS). Maritime Surveillance. Autonomous System. Interoperability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – P8A MPA.....	26
Figura 2 – Sea Guradian UAS operando no mar para ISR.....	28
Figura 3 – MQ-9B com lançador de sonobóia.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Análise comparativa da modernidade MPA e UAS.....	30
--	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

A2/AD	–	<i>Anti-Access/Area Denial</i> (Antiacesso/Negação de Área)
ACT	–	Comando Aliado de Transformação
AsuW	–	<i>Anti-Surface Warfare</i> (Guerra Antissuperfície)
ASW	–	<i>Anti-Submarine Warfare</i> (Guerra Antissubmarino)
BAMS	–	<i>Broad Area Maritime Surveillance</i> (Vigilância Marítima de Ampla Área)
BLOS	–	<i>Beyond Line of Sight</i> (Além da Linha de Visão)
C2	–	<i>Command and Control</i> (Comando e Controle)
C4ISR	–	<i>Command Control Communications Computers Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
DMO	–	<i>Distributed Maritime Operations</i> (Operações Marítimas Distribuídas)
ECM	–	<i>Electronic Counter Measures</i> (Contramedida Eletrônica)
EDIDP	–	<i>European Defence Industrial Development Programme</i>
EEZ	–	<i>Exclusive Economic Zones</i>
EMCON	–	<i>Emission Control</i>
EO/IR	–	<i>Electro Optic/Infrared</i>
ESM	–	<i>Electronic Support Measures</i> (Apoio Eletrônico)
EUA	–	Estados Unidos da América
FoS	–	Família de Sistemas
GCS	–	<i>Ground Control Station</i> (Estação de Controle de Solo)
GPS	–	<i>Global Positioning System</i> (Posicionamento Global)
HALE	–	<i>High Altitude Long Endurance</i>
IA	–	Inteligência Artificial
IAI	–	<i>Israel Aerospace Industries</i>
IOR	–	<i>Indian Ocean Region</i> (Região do Oceano Índico)
ISR	–	Inteligência, Vigilância e Reconhecimento
JAPCC	–	<i>Joint Air Power Competence Centre</i>
JMSDF	–	<i>Japan Maritime Self Defense Force</i>
LOS	–	<i>Line of Sight</i>

MALD	–	<i>Miniature Air-Launched Decoy</i>
MOC	–	<i>Maritime Operations Centers</i> (Centros de Operações Marítimas)
MPA	–	<i>Maritime Patrol Aircraft</i> (Aeronaves de Patrulha Marítima)
MUM-T	–	<i>Manned-Unmanned Teaming</i> (Operação Tripulada e Não Tripulada)
NATO	–	<i>North Atlantic Treaty Organisation</i>
OEM	–	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OMA	–	<i>Open Mission Architectures</i>
OMS	–	<i>Open Mission Systems</i> (Sistemas de Missão Aberta)
OTAN	–	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PLAN	–	<i>People's Liberation Army Navy</i>
RCAF	–	<i>Royal Canadian Air Force</i>
SAR	–	<i>Search and Rescue</i> (Busca e Salvamento)
SATCOM	–	<i>Satellite Communication</i>
SLOC	–	<i>Sea Lines of Communication</i>
STANAG	–	<i>Standardization Agreement</i>
UAS	–	<i>Unmanned Aerial System</i> (Sistemas Aéreos Não Tripulados)
UAV	–	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (Veículos Aéreos não Tripulados)
UCS	–	<i>UAS Control System</i>
US DOT&E	–	<i>United States Director of Operational Test and Evaluation</i>
USAACE	–	<i>United States Army Aviation Centre</i>
USAARL	–	<i>United States Army Aeromedical Research Laboratory</i>
ZEE	–	Zona Econômica Exclusiva

LISTA DE SÍMBOLOS

ft	Pés
hrs	Horas
km/hr	Quilômetro por hora
m	Metro
nm	Milha Náutica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	TEORIA DE MUM-T E DMO	17
2.1	MUM-T NO AMBIENTE MARÍTIMO	18
2.1.1	Níveis de Integração de MUM-T	19
2.1.2	Requisitos para a Implementação do MUM-T	20
2.1.3	Vantagens Operacionais do MUM-T.....	20
2.1.4	Limitações do MUM-T.....	22
2.2	TEORIA DE DMO	22
2.2.1	Por Que DMO?.....	23
2.2.2	Componentes Principais da DMO	23
2.2.3	Desafios na Implementação	24
2.3	CONCLUSÃO PARCIAL.....	25
3	CAPACIDADES TECNOLÓGICAS E LIMITAÇÕES DE MPA E UAS	25
3.1	CAPACIDADES DAS AERONAVE DE PATRULHA MARÍTIMA P8A.....	26
3.2	CAPACIDADES DAS UAS MQ-9B SEA GUARDIAN	27
3.3	TABELA DE COMPARAÇÃO	30
3.4	ANÁLISE COMPARATIVA DE CAPACIDADES E LIMITAÇÕES.....	30
3.5	CONCLUSÃO PARCIAL.....	32
4	ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DE MPA E UAS EM DMO	33
4.1	INTEGRAÇÃO DE MPA E UAS – VISÃO GERAL CONCEITUAL	33
4.1.1	Austrália.....	34
4.1.2	Canadá	34
4.1.3	China	35
4.1.4	União Europeia.....	35
4.1.5	Índia.....	36
4.1.6	Israel.....	36
4.1.7	Japão.....	37
4.1.8	OTAN.....	37

4.1.9	Estados Unidos	38
4.1.10	Guerra Rússia-Ucrânia	38
4.2	TECNOLOGIAS CRÍTICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MUM-T EM DMO	39
4.3	POSSÍVEL APLICAÇÃO DO MUM-T EM DMO	41
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A vigilância e a segurança marítima desempenham um papel fundamental na defesa nacional moderna no atual cenário geopolítico, marcado por ameaças assimétricas, disputas territoriais e pela crescente importância do espaço oceânico para benefícios econômicos. O controle efetivo das Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE), das rotas marítimas internacionais e dos recursos marinhos é essencial não apenas para a segurança da navegação e a proteção da soberania nacional, mas também para a dissuasão de conflitos e a projeção de força. A crescente presença de atores estatais e não estatais em alto mar e em território exige que os navios modernos adotem uma vigilância robusta de longo alcance com capacidade de resposta rápida. As transformações da guerra naval moderna baseiam-se no advento de novas tecnologias e na evolução da estratégia operacional das forças navais em direção à superioridade da informação, vigilância persistente e letalidade distribuída. Dois conceitos modernos emergem como os pilares das futuras operações marítimas: a Operação Tripulada e Não Tripulada (MUM-T, sigla em inglês) e as Operações Marítimas Distribuídas (DMO, sigla em inglês). Ambos os conceitos são distintos, mas convergem em sua aplicabilidade na guerra moderna.

Historicamente, as Aeronaves de Patrulha Marítima (MPA, sigla em inglês) de longo alcance têm sido a espinha dorsal da força naval em todo o mundo para vigilância de vastas áreas geograficamente dispersas. No entanto, os desafios da era moderna, como sistemas avançados de defesa aérea inimiga, aumento da letalidade das armas antiaéreas, ameaças submarinas à força de superfície e disponibilidade limitada de plataformas tripuladas, levaram as marinhas avançadas a buscar novas maneiras de melhorar a consciência situacional e reduzir a vulnerabilidade. Nessa situação, o uso de Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS, sigla em inglês) com alta resistência, sensores avançados e risco operacional limitado à vida humana oferece vantagem tática em missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR, sigla em inglês), Guerra Antissubmarino (ASW, sigla em inglês) e ataque de precisão. No entanto, as capacidades de ambas as plataformas estão sendo exploradas isoladamente e a integração de ambas as plataformas pode ser um multiplicador de força. O conceito

MUM-T surgiu inicialmente em operações de apoio aéreo terrestre e está sendo adaptado ao ambiente marítimo. A flexibilidade tática, a experiência humana e as capacidades multissensoriais das aeronaves de patrulha marítima, juntamente com as capacidades de vigilância persistente, alcance e capacidade de operar em zonas de alto risco de sistemas não tripulados, provavelmente aumentarão a capacidade geral da força quando operada em sinergia. Essa combinação permite maior cobertura operacional, redução do tempo de tomada de decisão (cadeia de destruição), vigilância sustentada de áreas críticas e execução de missões complexas em apoio à força de superfície.

Ao mesmo tempo, as DMO foram conceituadas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos como um conceito operacional da Marinha. Nas DMO, o poder naval é disperso em unidades menores e autônomas, capazes de operar de forma coordenada. As DMO baseiam-se no princípio de que a concentração de forças, embora eficaz para determinadas missões, torna-se uma vulnerabilidade crítica contra adversários modernos. A distribuição de forças permite maior capacidade de sobrevivência tática, mas também requer um maior nível de integração, interoperabilidade, comando e controle. A MUM-T provavelmente oferecerá vantagens operacionais incomparáveis para essa operação dispersa, com informações críticas e decisivas em tempo real. O processo de integração de aeronaves tripuladas, como o P-8A Poseidon, e sistemas não tripulados, como o MQ-9B Sea Guardian, por diferentes países está em estágio inicial. Os estudos rápidos e rigorosos realizados por diversas marinhas avançadas demonstram a importância da estratégia MUM-T no ambiente marítimo.

A questão central que norteia este estudo é como as operações coordenadas e sinérgicas de Aeronaves de Patrulha Marítima (MPA) e Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS) podem aumentar a eficiência, aprimorar a consciência situacional e aprimorar a eficácia operacional em Operações Marítimas Distribuídas?

A dissertação adota uma abordagem quantitativa e comparativa com o objetivo de compreender as capacidades das modernas aeronaves de patrulha marítima e sistemas aéreos não tripulados. Uma abordagem qualitativa é empregada para avaliar a integração de Aeronaves de Patrulha Marítima e Sistemas Aéreos Não Tripulados no

contexto de Operações Marítimas Distribuídas, com base em estudos de caso doutrinários e análises tecnológicas e operacionais.

A dissertação está organizada em cinco capítulos, incluindo este capítulo introdutório. A compreensão de cada capítulo contribuirá progressivamente para a solução da questão de pesquisa. No segundo capítulo, os aspectos teóricos do MUM-T e do DMO são explorados, destacando sua origem, estrutura operacional e sua adoção no cenário atual. No Capítulo 3, é realizada uma análise comparativa dos mais recentes MPA (P-8A) e UAS (MQ-9B) com base em suas capacidades tecnológicas e limitações operacionais. Essa avaliação auxilia na compreensão das maneiras de integrar ambas as plataformas, complementando os pontos fortes de cada uma e mitigando as fraquezas. A análise de estudos de caso é realizada no quarto capítulo, onde são destacadas as implantações operacionais, as inovações tecnológicas e o desenvolvimento doutrinário na integração MUM-T. Esses estudos de caso validam ou desafiam as premissas teóricas, fornecendo insights sobre os requisitos tecnológicos e políticos críticos para uma implementação bem-sucedida. Por fim, o quinto capítulo sintetiza as descobertas revisitando os objetivos da pesquisa e apresenta uma conclusão final com recomendações estratégicas e técnicas para futuras pesquisas e implementação operacional.

2 TEORIA DE MUM-T E DMO

Equipes Tripuladas e Não Tripuladas e Operações Marítimas Distribuídas são dois conceitos recentes que moldarão as operações navais no futuro. A integração de plataformas tripuladas com Sistemas Aéreos Não Tripulados aumenta a conscientização do domínio marítimo, a capacidade de ataque de precisão e a capacidade de sobrevivência da força naval. Por outro lado, as DMO permitem que as forças navais operem de forma coordenada e dispersa para atingir objetivos mais elevados. Este capítulo fornecerá uma compreensão teórica de ambos os conceitos da guerra marítima moderna.

2.1 MUM-T NO AMBIENTE MARÍTIMO

As Equipes Tripuladas e Não Tripuladas são estratégias revolucionária que sincroniza as plataformas tripuladas e não tripuladas para apoiar operações militares. O Centro de Aviação do Exército dos Estados Unidos (USAACE), durante o briefing estratégico do MUM-T em 2013, definiu o MUM-T como:

O emprego sincronizado de soldados, veículos aéreos e terrestres tripulados e não tripulados, robótica e sensores para alcançar maior compreensão situacional, maior letalidade e melhor capacidade de sobrevivência. Donald Woldhuis e Michael Spencer explicam o MUM-T como uma arquitetura de sistemas padronizada e um protocolo de comunicação que permite que imagens ao vivo e estáticas obtidas das cargas úteis dos sensores de Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS) sejam compartilhadas entre uma força (Rossetti, 2020, p. 43, tradução própria)¹.

Conforme descrito pelo Capitão de Divisão DK Pandey em seu artigo, o conceito de MUM-T visa explorar a sinergia da superioridade cognitiva e de tomada de decisão humana a bordo de aeronaves tripuladas com as capacidades de persistência, alcance e dispensabilidade de sistemas não tripulados. A arquitetura do MUM-T possui um grupo interconectado de plataformas, sensores e atiradores que expandem o espaço de batalha, reduzem o ciclo da cadeia de destruição e minimizam os riscos para operadores humanos. Originalmente, o conceito foi pesquisado para guerra terrestre e aérea, mas agora o MUM-T está evoluindo rapidamente como um conceito multiplicador de força no domínio marítimo. As marinhas modernas são necessárias para combater ameaças dispersas e conduzir operações em alto ritmo em um ambiente marítimo altamente contestado. O MUM-T em operações marítimas pode ser realizado por meio da colaboração contínua de Aeronaves de Patrulha Marítima de Longo Alcance e Sistemas Aéreos Não Tripulados, a fim de alavancar os benefícios de ambas as plataformas. Isso melhora a consciência situacional, o alcance estendido dos sensores e a eficácia da missão em apoio à frota. O conceito envolve vários níveis de coordenação, desde o compartilhamento básico de dados até a autonomia total, onde

¹No original: “The synchronized employment of soldier, manned and unmanned air and ground vehicles, robotics and sensors to achieve enhanced situational understanding, greater lethality and improved survivability. Donald Woldhuis and Michael Spencer explain MUM-T as a standardized systems architecture and communications protocol that enables live and still images gained from the sensor payloads of Unmanned Aerial Systems (UAS) to be shared across a force.” (Rossetti, 2020, p. 43)

plataformas não tripuladas executam tarefas de forma independente, mantendo comunicação em tempo real com aeronaves tripuladas (Pandey, 2024).

2.1.1 Níveis de Integração de MUM-T

Os níveis de integração MUM-T descrevem o nível de controle e colaboração entre plataformas. A MUM-T em operações marítimas é categorizada em cinco níveis com base no grau de controle humano, que varia do compartilhamento básico de informações à autonomia total (Rossetti, 2020).

- Nível 1 (Coordenação Indireta): Aeronaves tripuladas recebem dados ISR de UAS sem controle direto, utilizando as informações para aprimorar a consciência situacional.
- Nível 2 (Controle Limitado): Aeronaves tripuladas emitem comandos básicos para UAS para reconhecimento, aquisição de alvos e transmissão de inteligência crítica.
- Nível 3 (Equipes Colaborativas): UAS operam em modo semiautônomo e realizam tarefas ISR e ASW em coordenação direta com a MPA, melhorando a resposta em tempo real a ameaças marítimas.
- Nível 4 (Autonomia Supervisionada): UAS executam tarefas complexas com intervenção humana mínima. A tomada de decisões baseada em IA é utilizada para otimizar a execução da missão.
- Nível 5 (Autonomia Total): Os UAS executam missões de forma independente, com intervenção humana mínima ou inexistente, seguindo diretivas pré-programadas e adaptando-se dinamicamente às ameaças.

Em ambientes marítimos distribuídos, as operações de equipes colaborativas (nível 3) e autonomia de supervisão (nível 4) serão benéficas para a adaptação dinâmica às mudanças nos requisitos táticos. Nesses níveis de automação, as MPAs serão capazes de controlar os sensores e as trajetórias de voo dos UAS para o cumprimento da missão, envolvendo, assim, a cognição humana na tomada de decisões críticas.

2.1.2 Requisitos para a Implementação do MUM-T

A implementação bem-sucedida do MUM-T no ambiente marítimo requer a convergência de vários requisitos tecnológicos e operacionais (Pandey, 2024; 2023).

- **Interoperabilidade:** A interoperabilidade de plataformas tripuladas e não tripuladas é o principal requisito para a implementação do MUM-T. Isso inclui protocolos de comunicação comuns, criptografia, interface de missão e interoperabilidade de carga útil.
- **Arquitetura de Comunicação:** Um link de dados de alta largura de banda, robusto e seguro, especialmente além da linha de visão, para comunicação entre diferentes plataformas e centros de comando. A comunicação deve ser em tempo real e com baixa latência para operações eficazes de longo alcance.
- **Sistema de Missão Avançado:** Um sistema integrado de gerenciamento de missão para fundir dados de várias plataformas e obter um panorama operacional comum.
- **IA autônoma:** Desenvolvimento de IA autônoma para reduzir a constante intervenção humana em UAS, permitindo que os humanos se concentrem em tarefas estratégicas de alto nível. Além disso, permite que plataformas não tripuladas atuem de forma independente em ambientes com comunicação negada ou degradada para o cumprimento de missões críticas.
- **Doutrina e Treinamento:** Formalização das táticas do MUM-T por meio de doutrina que define funções, responsabilidades, interoperabilidade e controle. O treinamento abrangente de operadores e tripulação na tecnologia MUM-T é fundamental para a implementação.

2.1.3 Vantagens Operacionais do MUM-T

A tecnologia MUM-T tem sido considerada um multiplicador de forças no ambiente cada vez mais desafiador de proteção do operador e dos ativos. As diversas

vantagens operacionais do MUMT são enumeradas nos parágrafos seguintes (Pandey, 2024).

- **Vigilância Sustentada em Vastas Regiões Marítimas:** Realizar a vigilância de uma grande área por um longo período de tempo é um desafio no cenário marítimo atual. Os UAS podem fornecer cobertura sustentada e, quando operados com MPA, podem estender o alcance operacional geral da Marinha. Isso é relevante em regiões como a Região do Oceano Índico (IOR), onde a conscientização do domínio marítimo em tempo real é de extrema importância.
- **Operações de Ataque Marítimo:** O MUM-T aprimora significativamente a capacidade de ataque ao integrar UAS com MPAs. Os UAS podem ser empregados para vigilância inicial, reconhecimento, retransmissão de dados de alvos em tempo real e avaliação de danos em batalha. Isso melhora a precisão do ataque e a capacidade de sobrevivência da missão.
- **Capacidade de Sobrevivência e Flexibilidade:** Operacional Sistemas não tripulados podem ser implantados em ambientes de alto risco e disputados, onde a operação de aeronaves tripuladas seria vulnerável. O MUM-T permite que as MPAs permaneçam a distâncias de afastamento, mantendo a influência operacional usando o UAS, melhorando assim a capacidade de sobrevivência em zonas de Antiacesso/Negação de Área (A2/AD).
- **Velocidade e Precisão na Cadeia de Ataque:** O MUM-T comprime o circuito sensor-atirador. As informações coletadas por plataformas não tripuladas podem ser processadas a bordo da aeronave tripulada e também retransmitidas aos centros de comando marítimo em tempo real. Isso permite uma tomada de decisão mais rápida e uma resposta rápida contra alvos como submarinos ou embarcações de ataque rápido.
- **Operações Multidomínio Adaptativas:** O MUM-T permite uma coordenação perfeita entre os domínios aéreo, de superfície e subaquático, integrando assim todos os domínios da força naval para uma ação sincronizada em um ambiente marítimo disputado.

2.1.4 Limitações do MUM-T

Os sistemas MUM-T apresentam alguns riscos e desafios. Uma comunicação altamente sincronizada é fundamental para a implementação bem-sucedida do MUMT, mas alcançá-la pode ser difícil em um ambiente dinâmico e complexo (Pandey, 2024). As prováveis limitações/vulnerabilidades dos sistemas MUM-T estão descritas abaixo:

- Interoperabilidade: A integração de plataformas tripuladas e não tripuladas de diferentes fabricantes de equipamentos originais (OEMs) provavelmente resultará em problemas de compatibilidade.
- Ataque Cibernético: O MUM-T depende fortemente de links de dados, sistema de posicionamento global (GPS) e redes de comando e controle, que são vulneráveis a ataques cibernéticos por interferência ou hacking.
- Carga de Trabalho da Tripulação: Operar múltiplas plataformas levará a um aumento da carga de trabalho da tripulação e requer treinamento especializado para um gerenciamento eficiente. De acordo com o estudo do Laboratório de Pesquisa Aeromédica do Exército dos Estados Unidos (USAARL), pilotos e operadores de sistemas MUM-T enfrentarão maior carga de trabalho durante operações em ambientes complexos (Rossetti, 2020).

2.2 TEORIA DE DMO

Operações Marítimas Distribuídas (DMO)² são o conceito de combate em evolução da Marinha dos Estados Unidos da América (EUA), desenvolvido para enfrentar os desafios da guerra naval moderna. Representam uma mudança das tradicionais formações concentradas para uma estrutura de força distribuída que mantém o propósito da missão enquanto opera em uma ampla área geográfica. Essa abordagem visa aprimorar a capacidade de sobrevivência, a tomada de decisões e as capacidades ofensivas em cenários de conflito de alto nível (O'Rourke, 2024).

² O documento da Marinha dos EUA de 2022 refere-se ao DMO como o conceito operacional fundamental da Marinha (Chefe de Operações Navais, Plano de Navegação de 2022, p. 8).

2.2.1 Por Que DMO?

As DMO são movidas por imperativos defensivos e ofensivos. Defensivamente, buscam neutralizar os sensores avançados e o poder de fogo dos adversários, complicando seus processos de seleção de alvos. Na frente ofensiva, alavancam as capacidades de longo alcance em toda a diversificada estrutura de força para realizar um ataque simultâneo a partir de unidades distribuídas. Esse foco duplo permite que a Marinha opere efetivamente em ambientes contestados e mantenha a capacidade de atacar decisivamente. O conceito-chave da DMO é a distribuição de forças para evitar a concentração excessiva, mas também para garantir a coesão. Ao contrário do passado, a DMO enfatiza campanhas em larga escala com forças distribuídas atuando em total sincronia para atingir objetivos estratégicos (Filipoff, 2024).

2.2.2 Componentes Principais da DMO

Os componentes principais da DMO permitem que as forças navais operem de forma dispersa, mas coordenada, maximizando a letalidade e a capacidade de sobrevivência em um ambiente altamente contestado.

- Enganação como Multiplicador de Forças: A dissimulação do adversário, afetando sua tomada de decisão e informações sobre alvos, desempenha um papel fundamental. A implantação de sistemas não tripulados, mísseis chamariz e outras capacidades de guerra eletrônica sobrecarregará os sensores inimigos e aumentará a chance de alvos falsos. Por exemplo, o emprego de mísseis chamariz, como o ADM-160 *Miniature Air-Launched Decoy* (MALD), pode simular múltiplos ataques e sobrecarregar os recursos adversários. Isso resulta em desperdício de recursos defensivos e induz erros por parte do adversário (Filipoff, 2024).
- Comando e Controle Distribuído (C2): A distribuição aumenta a capacidade de sobrevivência, mas também impõe desafios de comando e controle. O DMO prevê uma estrutura de C2 mais resiliente e descentralizada, com integração de múltiplas plataformas, como navios de frota, aeronaves de

patrulha marítima, UAS e caças. Essas unidades podem coordenar fogos em massa e manter a coesão operacional mesmo em ambientes contestados. Além disso, Centros de Operações Marítimas (MOCs) expedicionários para distribuir capacidades de comando estão sendo explorados. Essas inovações visam reduzir a dependência de nós de comando centralizados, que são vulneráveis a alvos adversários (Filipoff, 2024; O'Rourke, 2024).

- **Treinamento Operacional e Desenvolvimento Tático:** A implementação bem-sucedida do DMO depende da capacidade da Marinha de reformular seu processo de treinamento operacional. Isso inclui a modificação de jogos de guerra, exercícios de frota e programas de desenvolvimento tático para se preparar para operações conjuntas e em nível de frota. Um foco principal é o treinamento de equipes de MOCs para atuarem como equipes de batalha prontas para o combate, possibilitando operações distribuídas (O'Rourke, 2024).

2.2.3 Desafios na Implementação

A DMO oferece vantagens significativas, mas também apresenta múltiplos desafios. O conceito requer desenvolvimento doutrinário, treinamento e investimento em novas capacidades. Alguns desses desafios são enumerados nos parágrafos seguintes (Filipoff, 2024).

- **Interoperabilidade:** A integração perfeita entre diversas plataformas, tripuladas e não tripuladas, é necessária para a coordenação e execução eficazes da DMO. Um alto padrão de interoperabilidade pode ser alcançado pela padronização de protocolos e sistemas de comunicação.
- **Segurança Cibernética:** A implementação da DMO depende fortemente de sistemas em rede, que são vulneráveis a ameaças cibernéticas. Medidas robustas de segurança cibernética são necessárias para proteger as informações críticas do sistema e manter a integridade das operações.
- **Treinamento e Desenvolvimento de Doutrinas:** A implementação da DMO exige modificações nos programas de treinamento naval e nas doutrinas

operacionais. O pessoal deve ser treinado para ser proficiente em operar em ambientes descentralizados e tomar decisões autônomas e confiantes, alinhadas aos objetivos gerais da missão.

2.3 CONCLUSÃO PARCIAL

MUM-T e DMO são conceitos transformadores que redefinem as operações marítimas modernas. Esses conceitos aprimoram a consciência situacional, a projeção de força e a resiliência operacional, aspectos cruciais para qualquer campanha naval. A integração de MPA e UAS na estrutura de DMO otimiza as capacidades de ISR, ASW e ataque. As forças navais podem operar com mais eficiência em ambientes marítimos complexos e contestados. Desenvolvimentos futuros em Inteligência Automática, redes de comunicação resilientes e sistemas de combate interoperáveis determinarão o sucesso de MUM-T e DMO na guerra naval moderna.

O próximo capítulo analisará as capacidades operacionais, os pontos fortes e as limitações de MPA e UAS existentes em missões marítimas, proporcionando uma compreensão mais aprofundada de seus papéis complementares em operações navais distribuídas.

3 CAPACIDADES TECNOLÓGICAS E LIMITAÇÕES DE MPA E UAS

A eficiência e a importância das plataformas de vigilância marítima no ambiente DMO dependem de suas capacidades tecnológicas e de suas filosofias de implantação operacional. MPA e UAS surgiram como meios essenciais para a segurança marítima. Este capítulo investiga as especificações técnicas e filosofias de emprego de uma das mais recentes plataformas de UAS e MPA do mundo, ou seja, MQ-9B Sea Guardian e P-8A Poseidon, respectivamente. Ao analisar os principais recursos, como capacidades de sensores, sistemas de comunicação, autonomia e carga de armamento, este capítulo destaca os pontos fortes e as limitações desses sistemas. Ao analisar as filosofias de implantação de UAS e MPA, com foco em suas capacidades, papéis operacionais e adaptabilidade em diversos cenários marítimos serão avaliados. Isso

fornece uma base para a compreensão da implantação simultânea de ambas as plataformas em um Ambiente Marítimo Distribuído contestado.

3.1 CAPACIDADES DAS AERONAVE DE PATRULHA MARÍTIMA P8A

O P8A Poseidon é uma aeronave de patrulha marítima multimissão de longo alcance, capaz de realizar operações de guerra antissubmarino (ASW), guerra antissuperfície, inteligência, vigilância, reconhecimento (ISR) e busca e salvamento (SAR). Uma imagem do P8A operando em uma missão ASW é mostrada na figura 1 abaixo.

Figura 1 - P8A MPA



Fonte: Boeing, s.d.

As diversas capacidades operacionais do UAS são enumeradas nos parágrafos seguintes (Boeing, [s.d.]; Director Dote, 2013).

- Capacidades de Sensores: A aeronave P8A está equipada com sensores avançados, como o radar Raytheon AN/APY-10 e sensores EO/IR. O sensor EO/IR do P8A possui alta resolução de até 0,5 metro ou mais, com capacidade de vigilância diurna e noturna. O sistema de radar AN/APY-10 foi

projetado para missões de busca de superfície, guerra antissubmarino (ASW) e Guerra Antissuperfície (ASuW).

- Alcance e Autonomia: O alcance da aeronave P8A é de aproximadamente 1200 nm e tem uma autonomia de até 10 horas.
- Guerra Eletrônica: Equipada com sofisticado conjunto de guerra eletrônica e contramedidas, a aeronave é capaz de operar em ambientes contestados.
- Requisitos da Tripulação: Requer uma tripulação de 8 a 10 pessoas por missão para operar múltiplos sensores a bordo.
- Velocidade: A aeronave atinge uma velocidade máxima de 907 km/h e pode ser facilmente redistribuída dentro da autonomia.
- Altitude Operacional: A aeronave é capaz de operar até uma altitude de 40.000 pés (12.200 m). A grande largura de banda de altitude ajuda a aeronave a realizar operações em altas e baixas altitudes com base na situação tática.
- Requisitos de Infraestrutura: O P8A Poseidon requer uma pista completa, hangares e instalações de apoio para preparação e manutenção da aeronave. Requer pessoal técnico altamente qualificado e ferramentas especializadas para a manutenção de sistemas avançados.
- Link de Comunicação: O P8A Poseidon utiliza rádios RF, SATCOM e link de dados táticos para comunicação com o centro de operações e outras unidades na área de vigilância.

3.2 CAPACIDADES DAS UAS MQ-9B SEA GUARDIAN

O MQ-9B Sea Guardian é um UAS de alta altitude e longa duração (HALE) da *General Atomics Aeronautical Systems*. O Sea Guardian foi projetado para voar por meio de comunicação via satélite e integrar-se com segurança ao espaço aéreo civil, permitindo às forças armadas ter consciência situacional em tempo real, tanto de dia quanto de noite. Uma imagem do Sea Guardian operando em uma missão ISR é mostrada na Figura 2.

Figura 2 – Sea Guradian UAS operando no mar para ISR



Fonte: General Atomics Aeronautical Systems, s.d.

As diversas capacidades operacionais do UAS são enumeradas nos parágrafos seguintes (Force, [s.d.]; Sadekar, 2024).

- Capacidades de Sensores: O MQ-9B Sea Guardian é equipado com um pacote de sensores do tipo plug and play, que inclui o radar Raytheon SeaVue, sensores EO/IR e outras cargas úteis especializadas. As câmeras EO/IR do MQ-9B oferecem uma resolução de até 0,3 metros ou menos, o que auxilia na classificação e no rastreamento de alvos pequenos. O radar marítimo e o EO/IR têm a capacidade de detectar todos os tipos de alvos marítimos, fornecendo atualização em tempo real da área marítima distribuída.
- Alcance e Autonomia: A aeronave tem um alcance operacional de aproximadamente 1.850 milhas náuticas (nm), com autonomia de mais de 30 horas. A aeronave opera com combustíveis à base de querosene de aviação Jet A ou JP-8, ideal para missões de vigilância em alto mar e de longa duração. Ideal para vigilância sustentada em uma área extensa (General Atomics Aeronautical Systems, INC., [s.d.]).

- Suscetibilidade à Guerra Eletrônica: Possui capacidade para ser equipada com sistemas avançados de Medida de Apoio Eletrônico (ESM) e Contramedida Eletrônica (ECM). A aeronave possui baixa suscetibilidade a interferências eletrônicas e é adequada para operação em ambientes contestados.
- Requisitos da Tripulação: Operada remotamente por uma equipe de 3 a 4 pessoas por vez. Isso otimiza a eficiência operacional com requisitos mínimos de tripulação.
- Velocidade: Velocidade máxima de aproximadamente 388 km/h, o que auxilia no reposicionamento rápido, conforme necessário.
- Altitude Operacional: O UAS de alta resistência pode operar em altitudes superiores a 40.000 pés (12.200 m). Essas operações em altas altitudes auxiliam na cobertura de vastas áreas e na realização de vigilância de longo alcance com desempenho superior de sensores em áreas marítimas distribuídas.
- Requisitos de Infraestrutura: A infraestrutura do MQ-9B Sea Guardian é significativa, especialmente para missões de longo alcance. A Estação de Controle de Solo (GCS) é sofisticada, com sistemas para lidar com comunicação de Linha de Visão (LOS) e links de Comunicação via Satélite (SATCOM), essenciais para operações Além da Linha de Visão (BLOS). O GCS é geralmente fixo, mas pode ser portátil, dependendo dos requisitos operacionais. O MQ-9B requer uma pista longa para decolagem e pouso, além de um amplo hangar. Instalações de manutenção com ferramentas e peças altamente especializadas são necessárias para lidar com aviônicos, sensores e sistemas de propulsão complexos.
- Link de Comunicação: O MQ-9B depende fortemente do SATCOM para operar em missões BLOS e possui uma configuração robusta de LOS para operações de menor alcance e linha de visão. O alcance do LOS é de aproximadamente 200 a 300 quilômetros e o link BLOS SATCOM permite operações de longo alcance, abrangendo milhares de quilômetros. O GCS do MQ-9B possui uma configuração robusta de SATCOM com antenas de

satélite e modems de alta largura de banda, garantindo a transferência segura de dados em tempo real em grandes distâncias.

3.3 TABELA DE COMPARAÇÃO

Os parâmetros técnicos de ambas as plataformas estão tabulados abaixo.

Tabela 1 – Análise comparativa da modernidade MPA e UAS

Parâmetro	MQ-9B Sea Guardian UAS	P8A Poseidon MPA
Alcance	1850 nm	1200 nm
Resistência	30 horas	10 horas
Capacidade do Sensor	Radar/ EO/ IR/ ESM	Radar/ EO/ IR/ ESM/ Acoustic
Velocidade	388 km/h	907 km/h
Altitude Operacional	40000 ft	40000 ft
Tripulação	3-4	8-10
Link de Comunicação	Alta dependência	Dependência media
Capacidade de Guerra Eletrônica	Avançado	Avançado
Custos Operacionais (por hora de voo)	\$16000 – \$19000	\$30000 - \$40000
Consumo de Combustível (por hora)	150 – 200 litros	5000 – 5500 litros
Vida Operacional	15 – 20 anos	25 – 30 anos

Fonte: Elaboração própria.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DE CAPACIDADES E LIMITAÇÕES

Aeronaves de Patrulha Marítima e Sistemas Aéreos Não Tripulados possuem potencial e capacidades significativos para emprego em ambiente marítimo. No entanto, ambas as plataformas também apresentam algumas limitações. A análise das

capacidades e limitações é apresentada nos parágrafos seguintes (Escritório de Orçamento do Congresso dos Estados Unidos, 2021).

- Alcance e Autonomia: Dependendo da carga útil transportada, plataformas avançadas de UAS podem operar por 25 a 40 horas continuamente, cobrindo uma ampla área. Por outro lado, as MPA podem operar normalmente por 8 a 12 horas. Os UAS podem ser empregados para vigilância em vastas áreas, o que pode ser crítico em DMO.
- Velocidade: As MPAs podem operar em velocidades mais altas quando comparadas aos UAS. Portanto, as MPA podem ser rapidamente reposicionadas para responder a ameaças dinâmicas e críticas em termos de tempo.
- Capacidades de Sensores: Ambas as plataformas oferecem capacidades de sensores semelhantes em relação a radar, câmera EO/IR e sistema ESM contra alvos de superfície. No entanto, as MPAs possuem capacidades mais sofisticadas contra ameaças submarinas (Guerra Antissubmarino).
- Capacidades de Armamento: Os UAS possuem capacidade limitada de carga útil de armamento, enquanto as MPA possuem um complemento de capacidades avançadas de armas antissuperfície e antissubmarino. A MPA, com suas sofisticadas capacidades de armamento, podem ser empregadas em operações de ataque marítimo.
- Eficiência Operacional: MPA como o P-8I são capazes de executar com sucesso missões multifuncionais complexas em alcances estendidos, o que os torna altamente eficazes para missões operacionais como Guerra Antissubmarino (ASW), Guerra Antissuperfície, Busca e Resgate (SAR) e operações antipirataria. No entanto, UAS como o MQ-9B Sea Guardian carecem de flexibilidade e capacidade de sensores para operações multifuncionais.
- Risco para o Pessoal: O fato de o UAS não ser tripulado elimina o risco da tripulação contra ameaças marítimas. O UAS pode ser empregado em ambientes altamente contestados e voláteis sem colocar a tripulação em risco.

- Infraestrutura: O UAS requer infraestrutura significativa em terra para sistema de controle, link de comunicação e outros sistemas de suporte.
- Link de Comunicação: O UAS depende fortemente de um link de comunicação robusto, vulnerável a ataques de guerra eletrônica. Uma perda de comunicação levará à falha da missão e a plataforma ficará inutilizável.
- Adaptabilidade Multifuncional: As MPAs podem ser empregadas para desempenhar diversas funções simultaneamente, como ISR, antissuperfície, antissubmarino, busca e salvamento (SAR) e ataque marítimo. As MPAs também são altamente adaptáveis a cenários de alto risco, com seus sensores robustos e amplos perfis de missão. No entanto, os UAS são otimizados para desempenhar uma função de cada vez, sendo eficazes principalmente em vigilância contínua. Eles exigem tempo para mudança de função e apresentam limitações quando se exige rápida adaptabilidade.
- Custo benefício: O custo financeiro da operação de plataformas marítimas inclui o custo inicial de compra, o custo de manutenção e o custo operacional de combustível, tripulação, etc. O custo de aquisição e operação de UAS é geralmente menor quando comparado às MPA. O baixo custo se deve ao menor consumo de combustível, à redução da tripulação e à menor necessidade de manutenção. As MPAs possuem maior capacidade de carga útil, adequada para múltiplas missões, justificando seu custo mais elevado.

3.5 CONCLUSÃO PARCIAL

O estudo detalhado das capacidades tecnológicas das MPA e dos UAS destaca os pontos fortes e as limitações essenciais dessas plataformas em operações marítimas. Enquanto as MPA demonstram alta velocidade, versatilidade superior e funcionalidade multifuncional, os UAS possuem maior persistência, requisitos mínimos de infraestrutura e acessibilidade. Neste capítulo, foi realizada uma análise comparativa de parâmetros como resistência, alcance, eficiência operacional e capacidades de vigilância das MPA e dos UAS. MPAs como o P-8I são de significativa importância no ambiente marítimo atual, especialmente nos domínios da Guerra Antissubmarino (ASW)

e das operações de Busca e Salvamento (SAR). A carga útil avançada de sensores, com capacidade de ser implantada em missões múltiplas, torna as MPA críticas e indispensáveis para missões complexas que exigem resposta imediata coordenada. Por outro lado, os UAS são um meio econômico e eficiente para vigilância prolongada em grandes áreas. Esta análise abrangente corrobora a hipótese de que UAS e MPA devem ser integrados para superar as limitações e fornecer uma abordagem robusta e infalível para a DMO. Essas descobertas ajudam a determinar as compensações operacionais de MPA e UAS, estabelecendo a plataforma para identificar a filosofia operacional e os cenários da tecnologia MUM-T em DMO no próximo capítulo.

4 ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO DE MPA E UAS EM DMO

A comparação detalhada das capacidades e limitações de MPA e UAS foi realizada no capítulo anterior. Com base nas descobertas, pode-se entender que MPAs e UAS têm certas vantagens e limitações. Ambos os sistemas, quando operados de forma sincronizada e complementar, podem fornecer capacidades versáteis e resposta rápida em Ambiente Marítimo Distribuído (DMO). As forças navais modernas têm que enfrentar ameaças avançadas em domínios marítimos contestados e estrategicamente importantes. Este capítulo analisa a integração harmoniosa de MPA e UAS e as diferentes abordagens de potências navais avançadas do mundo para operacionalizar a integração MPA – UAS. O estudo também identificará os principais desafios operacionais e restrições de interoperabilidade no emprego de conceitos MUM-T em missões ISR, ASW e ataque marítimo.

4.1 INTEGRAÇÃO DE MPA E UAS – VISÃO GERAL CONCEITUAL

O MUM-T de MPA e UAS aprimora as capacidades, proporcionando uma abordagem mais flexível e econômica para operações em vastos ambientes marítimos. As MPAs facilitam a tomada de decisões humanas a bordo, a flexibilidade multimirada e sensores robustos. Por outro lado, UAS como o MQ-9B Sea Guardian e o MQ-4C Triton oferecem alta resistência, cobertura ISR persistente e risco operacional reduzido. Uma

arquitetura comum de comando e controle para ambos os tipos de plataforma combina os pontos fortes, aumentando o alcance operacional, a vigilância em camadas e apoiando a tomada de decisões em Operações Marítimas Distribuídas (DMO). O desenvolvimento global na adoção do MUM-T é examinado nos parágrafos seguintes (Lee, 2014).

4.1.1 Austrália

A Força Aérea Australiana emprega o P8A MPA e o MQ-4C Triton UAS dentro de uma Família de Sistemas (FoS)³ para aprimorar a eficácia das missões de guerra antissubmarino e vigilância marítima australianas. Ambos os sistemas operam em funções complementares no mesmo espaço de batalha para responder às necessidades de patrulha marítima e apoiar a força conjunta em uma série de tarefas de ISR. O P-8A Poseidon é configurado para atender aos requisitos de missão que o Triton não pode, incluindo guerra antissubmarino e busca e assistência a sobreviventes. Se o P-8 Poseidon tiver como missão principal a guerra antissubmarino, a responsabilidade pela missão de gerenciar a vigilância marítima na mesma área de missão será atribuída ao Triton UAS (Spencer, Small, 2019).

4.1.2 Canadá

A Força Aérea Real Canadense (RCAF) está realizando pesquisas para integrar a plataforma UAS (BAMS) ao CP140 Aurora MPA para realizar detecção de longo alcance e defesa do domínio marítimo canadense. O UAS é capaz de operar com menos da metade da tripulação do Aurora (quatro contra 10), o dobro da autonomia, o dobro do alcance e uma carga útil de sensores ISR superior. As plataformas UAS são empregadas para realizar missões sujas, monótonas e perigosas. As missões de vigilância marítima no setor norte do Canadá enfrentam condições meteorológicas e

³ Família de Sistemas (FoS) é o conceito de agrupar diferentes sistemas com algumas características comuns. O Triton oferece vigilância de longo alcance e alta resistência, e o P-8A proporcionará resposta marítima rápida e vigilância de curta distância (Spencer, Small, 2019).

ambientais adversas (suja), exigem operação monótona e prolongada (monótona) e têm poucas alternativas de operação em situações de emergência (perigosas). Plataformas não tripuladas complementam as plataformas tripuladas existentes, oferecendo à RCAF maior flexibilidade operacional (Fraser, 2020).

4.1.3 China

A estratégia MUM-T da China está evoluindo rapidamente e tem sido líder em inovação em sistemas não tripulados. A Marinha do Exército de Libertação Popular (PLAN) está utilizando uma variedade de sistemas tripulados e não tripulados para ampliar o alcance operacional e aprimorar a consciência situacional. Embora a transparência doutrinária permaneça limitada, os sistemas projetados para exportação e implantação operacional indicam que a China está desenvolvendo uma abordagem centrada em redes multidomínio para o MUM-T. A China opera veículos aéreos não tripulados (UAV) de longa duração e alta/média altitude, como o WZ-7 Soaring Dragon e o BZ-005 Changying, para missões ISR, complementando as plataformas tripuladas, como o Y8 e o Y9 (Saxena, 2020; Oliver, 2025).

4.1.4 União Europeia

A União Europeia lançou o projeto MUM-T denominado Musher⁴, no âmbito do Programa Europeu de Desenvolvimento Industrial da Defesa (EDIDP). O objetivo do projeto é desenvolver um sistema MUM-T genérico para os países da UE, capaz de operar em ambientes robustos. Essa capacidade permite altos níveis de automação e autonomia, bem como detecção e identificação de ameaças auxiliadas por inteligência artificial. Isso pode ser implementado para integrar qualquer aeronave de asa fixa, asa rotativa, tripulada ou não tripulada, o que permite o processamento coordenado de informações durante missões de combate (Airbus, 2024).

⁴ A Airbus e seus parceiros demonstraram o sistema de voo em equipe tripulado-não tripulado (MUM-T), desenvolvido como parte do projeto Musher, financiado pela União Europeia. A demonstração foi realizada na França e na Itália de 30 de setembro a 9 de outubro de 2024, onde vários sistemas tripulados e não tripulados foram conectados a uma única rede MUM-T.

4.1.5 Índia

A Índia está adquirindo o MQ-9B Sea Guardian para complementar a frota de aeronaves P-8I da Marinha, a fim de aprimorar as capacidades de vigilância marítima na Região do Oceano Índico (IOR). A operação do UAS permitirá vigilância persistente, permitindo que as aeronaves P8I realizem missões mais especializadas, como operações de segurança antissubmarino (ASW) e de inteligência. (Equipe do Defense.in, 2024; Equipe do IDRW, 2014). A Marinha Indiana também está desenvolvendo um drone avançado Loyal Wingman, denominado Abhimanyu⁵. Este é um passo importante para a integração do MUM-T na estratégia de aviação naval indiana (The Asia Live News Service, 2025).

4.1.6 Israel

Israel não opera MPA tradicionais de longo alcance e, alternativamente, emprega uma arquitetura ISR marítima híbrida centrada em sistemas aéreos não tripulados (UAS) avançados e sensores embarcados. Israel é um inovador líder em tecnologia de sistemas não tripulados e fez avanços significativos na aplicação de equipes tripuladas e não tripuladas (MUM-T) em guerra terrestre (Israel Defense, 2023). Na frente marítima, a MUM-T é alcançada por meio do uso de UAS integrados a plataformas de patrulha naval e vigilância costeira. Empresas como a Elbit Systems e a Israel Aerospace Industries (IAI) desenvolveram sistemas como o Heron e o Hermes 900 Maritime Patrol, equipados com sensores eletro-ópticos, radar marítimo e enlace de dados seguro. Esses sistemas fornecem vigilância persistente de Zonas Econômicas Exclusivas (ZEE), interdição de tráfego ilícito e apoio a operações navais (Elbit Systems, [s.d.]). O uso de UAS a bordo de corvetas da classe Sa'ar e sua integração com sistemas de comando e controle naval demonstra o comprometimento de Israel com o conceito MUM-T (Naval Technology, 2020).

⁵ A Marinha da Índia firmou parceria com a NewSpace Research & Technologies (NRT), sediada em Bengaluru, para desenvolver o Veículo Aéreo de Combate Colaborativo Naval (N-CCAV), um drone a jato chamado Abhimanyu. O projeto Abhimanyu é parcialmente financiado pela iniciativa Inovações para Excelência em Defesa (iDEX) do Ministério da Defesa da Índia e por financiamento interno da empresa.

4.1.7 Japão

O Japão está progredindo significativamente nas operações aéreas marítimas com a adoção do MUM-T por meio da integração do MQ-9B Sea Guardian⁶ com as MPAs Kawasaki P-1 e P-3C. A Força de Autodefesa Marítima do Japão (JMSDF) está em processo de introdução do UAS MQ-9B Sea Guardian para estabelecer uma postura de vigilância multicamadas e reduzir a perda de recursos humanos. A JMSDF está empreendendo uma mudança estratégica rumo à vigilância persistente do Mar da China Oriental e do Oceano Pacífico para conter a crescente presença de navios da Marinha chinesa. O porta-voz da JMSDF não comentou sobre o controle do drone a partir do P-1, porém, o MUM-T entre o MQ-9B e o P-1 é altamente viável (Takahashi, 2024).

4.1.8 OTAN

A OTAN está desenvolvendo ativamente o conceito de MUM-T, que sustenta a integração de UAS e aeronaves tripuladas em múltiplos domínios. O Centro Conjunto de Competência em Poder Aéreo (JAPCC), um importante think tank da OTAN, está realizando estudos avançados no domínio do MUM-T. O Exercício Dynamic Messenger⁷ da OTAN demonstra o esforço da aliança para incorporar UAS em operações multidomínio em tempo real, coordenadas por sistemas espaciais. Os países da OTAN empregam aeronaves tripuladas e não tripuladas para operações de segurança marítima em áreas de responsabilidade, incluindo Mediterrâneo, Báltico e Atlântico Norte. Os UAS fornecem vigilância persistente e transmitem dados em tempo real para centros de comando, enquanto as MPAs realizam missões táticas de interdição e interceptação (Escritório de Padronização da OTAN, 2025).

⁶ O MQ-9B Sea Guardian está passando por operações de teste na Base Aérea de Hachinohe, na prefeitura de Aomori, ao norte, e na Base Aérea de Kanoya, na prefeitura de Kagoshima, ao sul, desde maio de 2023. (TAKAHASHI, Kosuke, 2024)

⁷ O Exercício Dynamic Messenger é um exercício de experimentação de Sistemas Marítimos Não Tripulados da OTAN, liderado pelo Comando Aliado de Transformação (ACT) e pelo Comando Marítimo Aliado (MARCOM) e coordenado com diversas partes interessadas (OTAN, [s.d.]).

4.1.9 Estados Unidos

Os EUA estão na vanguarda do MUM-T, integrando P8A tripulados com diversos UAS, como o MQ-4C Triton, o MQ-9B Sea Guardian e o MQ-25 Stingray. A Marinha dos EUA desenvolveu o conceito de Vigilância Marítima de Ampla Área (BAMS)⁸ para lidar com a escassez de ativos para inteligência, vigilância e reconhecimento (ISR). O UAS MQ-4C Triton realiza vigilância persistente de ampla área e o P-8A MPA realiza missões direcionadas, como guerra antissubmarino (ASW) e interdição com base na inteligência do Triton. Essa combinação otimiza recursos usando UAS para monitoramento contínuo e MPAs para operações especializadas. (US DOT&E, 2012; “US Navy’s Triton UAS – Poseidon’s Perfect Partner”, 2014). A Boeing demonstrou a Arquitetura de Autonomia Aberta para o MUM-T centrada no MQ-25 Stingray em setembro de 2022. A demonstração mostrou que as aeronaves P8A e E-2D⁹ poderiam atribuir ao UAS MQ-25 missões ISR especificando a área de busca. Os testes ilustraram as capacidades críticas do MUM-T de transferência de missão e comando e controle em tempo real de plataformas tripuladas para execução bem-sucedida da missão com carga de trabalho reduzida da tripulação (Naval News Staff, 2022).

4.1.10 Guerra Rússia-Ucrânia

O conflito em curso entre a Rússia e a Ucrânia demonstrou o valor estratégico dos sistemas não tripulados em operações convencionais de alta intensidade e a necessidade de explorar o conceito de Tripulação Tripulada-Não Tripulada (MUM-T). A Rússia tem utilizado extensivamente plataformas de UAS, como o Orlan-10, o Eleron-3SV e o Orion, para reconhecimento em tempo real, direcionamento de artilharia e missões de ataque limitado. Esses drones retransmitem dados de direcionamento para

⁸ O programa BAMS da Marinha dos EUA foi projetado para aliviar uma parcela significativa da carga da missão ISR das aeronaves de patrulha marítima tripuladas. O projeto BAMS desenvolveu Veículos Aéreos Não Tripulados para ampliar e complementar a nova aeronave multimissão de patrulha marítima P-8 Poseidon em missões ISR (US DOT&E, 2012).

⁹ O E-2D Hawkeye é uma aeronave avançada de alerta aéreo antecipado, comando e controle, baseada em porta-aviões, fabricada pela Northrop Grumman. É operada pela Marinha dos EUA e fornece consciência situacional e capacidades de comando para grupos de ataque de porta-aviões.

sistemas terrestres ou aeronaves tripuladas, aumentando a precisão do direcionamento em tempo real. A Ucrânia utilizou o Bayraktar TB2 e outros drones comerciais de baixo custo para ISR e direcionamento, juntamente com aeronaves de ataque tripuladas (Molloy, 2024). Durante a guerra, ambos os lados demonstraram a necessidade de interoperabilidade entre sensor e atirador, ciclos rápidos de tomada de decisão e ISR persistente, que são princípios fundamentais do MUM-T. A guerra também demonstrou que mesmo sistemas semi-integrados podem produzir resultados eficazes no campo de batalha (Pandey, 2024).

4.2 TECNOLOGIAS CRÍTICAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MUM-T EM DMO

A implementação bem-sucedida do MUM-T no âmbito do DMO requer a integração de diversas tecnologias críticas para a execução bem-sucedida da missão e a capacidade de sobrevivência. As tecnologias descritas nos parágrafos seguintes permitem uma estrutura de força marítima pronta para o futuro, capaz de empreender operações em alto ritmo em um ambiente marítimo vasto e contestado.

- Comunicação por Enlace de Dados: O requisito mais crítico é a necessidade de uma comunicação e enlace de dados interoperáveis. Todas as plataformas no ambiente DMO devem estar conectadas por meio de uma rede segura e resiliente, com capacidade de comunicação tanto na linha de visada (LOS) quanto além da linha de visada (BLOS). Enlaces de dados táticos e canais via satélite são essenciais para garantir o controle ininterrupto do UAS e o compartilhamento de dados de sensores entre plataformas que operam em ambientes marítimos dispersos. As operações do MUM-T são altamente vulneráveis a interferências, falsificações e ataques cibernéticos, portanto, uma rede robusta e resiliente com alternativas é essencial em todos os momentos (Costanzi et al., 2023).
- Arquitetura de Missão Aberta (OMA): O próximo requisito importante é a adoção de Arquiteturas de Missão Abertas (OMA), que facilitam a integração de diversos sistemas, sensores e cargas úteis. Em um ambiente DMO, haverá diversas plataformas múltiplas desenvolvidas por diferentes

fabricantes em todo o mundo. Essas plataformas precisam ser integradas para facilitar a interoperabilidade. Padrões arquitetônicos comuns, como o *Standardization Agreement* (STANAG) 4586¹⁰ da OTAN ou a estrutura de Sistemas de Missão Aberta (OMS)¹¹ do Departamento de Defesa dos EUA, podem ser adotados para permitir a interoperabilidade perfeita entre ativos multinacionais. Essas estruturas arquitetônicas são essenciais para o gerenciamento de missões complexas entre forças conjuntas ou de coalizão (Costanzi et al., 2023).

- Fusão de Sensores e C4ISR: O próximo pilar tecnológico fundamental é a fusão de múltiplos sensores e a integração Comando Controle Comunicações Computadores Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (C4ISR). Em um contexto operacional distribuído, a capacidade de sintetizar dados de vários sensores de múltiplas plataformas em um quadro operacional comum e compartilhado é vital. Esses dados de sensores fundidos devem ser acessíveis em tempo real aos comandantes no centro de operações e à tripulação a bordo de aeronaves tripuladas para permitir uma coordenação eficaz e a execução bem-sucedida da missão (Gonzales; Harting, 2014).
- Inteligência Artificial (IA): A inteligência artificial (IA) e os algoritmos de aprendizado de máquina são essenciais para atingir o nível de autonomia necessário para plataformas não tripuladas. A eficácia do MUM-T aumenta significativamente quando os UAS são capazes de autonomia na execução de missões ISR, detecção de ameaças e otimização de rotas. Isso reduz a carga cognitiva dos operadores humanos e acelera o ciclo de tomada de decisão (Gonzales; Harting, 2014; Costanzi et al., 2023).

¹⁰ O STANAG 4586 é um Acordo de Padronização da OTAN (STANAG) que define as interfaces padrão para sistemas de controle de Veículos Aéreos Não Tripulados (UCS) para garantir a interoperabilidade entre os países membros da OTAN. Ele especifica as arquiteturas, interfaces, protocolos de comunicação, elementos de dados e formatos de mensagens necessários para que os UCS operem com diversos UAVs e suas cargas úteis. (OTAN, 2012)

¹¹ Open Mission Systems (OMS) é um subconjunto da abordagem de arquitetura de sistemas abertos projetado para a aviação militar com o objetivo de melhorar a avionica militar por meio de padrões abertos, competição e custo-benefício.

4.3 POSSÍVEL APLICAÇÃO DO MUM-T EM DMO

O padrão de emprego do MUM-T por vários países desenvolvidos foi analisado e as possíveis aplicações do MUM-T em DMO são exploradas nos parágrafos seguintes.

- Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (ISR): A aplicação mais importante e impactante do MUM-T em DMO são as missões ISR. Sistemas Aéreos Não Tripulados, como o MQ-4C Triton e o MQ-9B SeaGuardian, com capacidades de longo alcance e alta resistência, podem ser implantados de forma persistente como olhos e ouvidos em grandes áreas. O UAS fornece dados em tempo real tanto para plataformas tripuladas, como o P-8A Poseidon, quanto para o centro de operações. Essa fusão de sensores permite ISR multicamadas. As tarefas persistentes de vigilância podem ser transferidas para plataformas não tripuladas e aeronaves tripuladas podem ser empregadas para conduzir investigações críticas e missões dinâmicas, otimizando os recursos aéreos.
- Ataque Marítimo: A combinação de aeronaves tripuladas e não tripuladas proporciona maior alcance e capacidade de carga útil em missões de ataque de precisão. O UAS pode ser empregado para detecção e classificação de contatos e fornecer dados de alvos em tempo real, permitindo que aeronaves tripuladas como o P8A engajem alvos com maior precisão. UAS com capacidade de armamento, como o MQ-9B, podem realizar engajamentos simultâneos com MPAs para obter vantagem tática.
- Guerra Eletrônica: A integração de MPAs e UASs pode desempenhar um papel vital em missões de Guerra Eletrônica em ambientes eletromagnéticos altamente contestados. UASs com ESM e carga útil de Ataque Eletrônico (EA) podem fornecer capacidades de Guerra Eletrônica eficazes e coordenadas.
- Busca e Resgate: UAS equipados com sensores EO/IR podem realizar buscas sustentadas em vastas áreas por períodos prolongados, juntamente com aeronaves tripuladas. UAS guiam aeronaves tripuladas capazes de

implantar kits de busca e resgate para resgatar sobreviventes. O MUM-T pode melhorar significativamente a eficácia da missão.

- Guerra Antissubmarino (ASW): Atualmente, a ASW aerotransportada está sendo realizada por aeronaves tripuladas, como o P8A. A General Atomics Aeronautical Systems demonstrou recentemente o transporte, a liberação, o processamento e o controle de sonobóias a partir do MQ-9B UAS (Cushman, 2025). Uma imagem do MQ-9B com lançador de sonobóia é mostrada na Figura 3. Tanto o MPA quanto o UAS podem ser implantados em sinergia para detecção e perseguição de submarinos, onde o UAS implanta sonobóias e monitores MPA processam dados acústicos e lançam torpedos. Além disso, o recente desenvolvimento de helicópteros não tripulados para ASW, como o Airbus VSR700, permite que sejam implantados a partir de navios durante operações coordenadas de ASW, juntamente com aeronaves ASW tripuladas, como o P-8I (Airbus, [s.d.]).

Figura 3 - MQ-9B com lançador de sonobóia



Fonte: General Atomics Aeronautical Systems, s.d.

- Operações Anfíbias: O MUM-T pode aprimorar significativamente as operações anfíbias e especiais, permitindo ISR coordenada e tomada de decisões em tempo real. Antes da inserção, os UAS podem realizar ISR persistente sobre zonas litorâneas e transmitir informações em tempo real

sobre ameaças e perfil do terreno. Essas informações são críticas durante a infiltração e exfiltração por meio de plataformas tripuladas. Essa integração fortalece a resiliência da missão e aumenta a capacidade de sobrevivência em operações anfíbias dinâmicas de alto risco.

- MUM-T em Ambientes De Antiacesso/Negação De Área (A2/AD): O emprego de Equipes Tripuladas e Não Tripuladas (MUM-T) em ambientes de Antiacesso/Negação de Área (A2/AD)¹² oferece vantagem estratégica ao permitir o desdobramento de forças distribuídas e resilientes contra sistemas adversários projetados para restringir a liberdade de operação. UAS podem ser desdobrados como plataformas de reserva para penetrar em zonas de alto risco, conduzir alertas antecipados, aquisição de alvos, apoio em guerra eletrônica e operações de dissimulação enquanto plataformas tripuladas permanecem em distâncias de afastamento. O MUM-T em A2/AD permite que MPA como o P-8A Poseidon operem com base em dados em tempo real fornecidos por sistemas não tripulados de desdobramento avançado, como o MQ-9B ou o MQ-4C, sem expor a tripulação a zonas de alto risco. Este conceito fornece uma cadeia de destruição robusta, permitindo uma rede de sensores-decisão-atirador resiliente a interrupções e capaz de tarefas dinâmicas, aumentando o ritmo operacional e a letalidade em ambientes altamente contestados (Pandey, 2023).
- *Loyal Wingman*: Sistemas avançados não tripulados, como o Boeing MQ-28A e o XQ-58A Valkyrie, são projetados para operar em conjunto com plataformas tripuladas (MPAs e aeronaves de caça). Esses sistemas não tripulados são conhecidos como *loyal wingman*, capazes de realizar ISR, missões de alerta antecipado e utilizam sistemas de combate baseados em inteligência artificial para o MUM-T (Airforce-Technology, 2023).
- Ponte de Comunicação: O UAS pode atuar como um nó de retransmissão de comunicação e manter uma forte conectividade entre todos os ativos

¹² A estratégia A2/AD consiste em dois componentes: Antiacesso (A2) e Defesa de Área (AD). O conceito de Antiacesso (A2) é empregado para impedir ou restringir o acesso de forças hostis a uma zona de conflito ou área operacional designada. O componente de negação de área (AD) da estratégia A2/AD visa impedir ou restringir a capacidade do inimigo de manobrar livremente dentro de uma área operacional designada. (Pandey, 2023)

dispersos no DMO. Essa função é ainda mais crítica em cenários EMCON, onde manter um link de comunicação seguro e redundante é crucial e essencial.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo final de conclusão, a questão de pesquisa formulada no início deste estudo foi revisitada. Os resultados de cada capítulo serão consolidados para a implementação do MUM-T em operações aéreas marítimas e sugerirão direções para estudos futuros. A dissertação investigou a integração de Aeronaves de Patrulha Marítima (MPA) e Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS) no escopo das Operações Marítimas Distribuídas (DMO) para responder à questão de pesquisa: como a combinação dessas plataformas aumenta a eficiência, a consciência situacional e a eficácia operacional em ambientes navais distribuídos?

O Capítulo 2 estabeleceu uma base teórica robusta para o estudo, delineando a evolução do conceito de MUM-T e sua compatibilidade com as DMO. Identificou-se que as DMO não requerem apenas uma dispersão física da força naval, mas também uma arquitetura de comando e controle resiliente, capaz de manter a coesão entre todos os nós operacionais. Nesse contexto, o MUM-T atua como um facilitador de força, oferecendo um modelo operacional que distribui sensores e mantém o poder de decisão humana em nós redundantes e geograficamente distribuídos.

No Capítulo 3, a comparação técnica entre as plataformas modernas de MPA e UAS reforçou a ideia de compatibilidade e interoperabilidade. As principais conclusões incluem a operação persistente de plataformas de UAS como o MQ-9B e a avançada capacidade de sensores marítimos, com capacidade de tomada de decisão humana a bordo de MPA como o P-8A, que representam capacidades significativas contra ameaças marítimas modernas. Essa combinação proporciona uma rede distribuída de sensores capazes de atuar contra todos os tipos de ameaças.

A abordagem empírica adotada no Capítulo 4, por meio de estudos de caso de vários países, demonstrou a aplicabilidade operacional da integração MPA-UAS. Observou-se que algumas nações já adotaram formas iniciais de MUM-T e obtiveram

alguns resultados promissores, especialmente em vigilância marítima persistente e operações ASW coordenadas. Com base nos estudos de caso discutidos, três áreas principais de progresso foram identificadas:

- Implementação e evolução operacional: Nações como os Estados Unidos e o Japão fizeram rápido progresso na adoção operacional do MUM-T por meio de exercícios de batalha integrados e do programa de aquisição do MQ-9B. Essas experiências validam a aplicabilidade do modelo em missões reais de patrulha marítima e guerra antissubmarino.
- Experimentação de Interoperabilidade: A Alemanha, com o programa MUSHER, validou a viabilidade da implantação naval em um teatro marítimo real, indicando caminhos promissores para a integração em frotas multinacionais.
- Desafios persistentes em capacidades emergentes: Países como a Rússia, apesar de seus avanços na tecnologia de UAVs, fizeram progresso limitado na integração, o que reforça a necessidade de altos níveis de interoperabilidade, tecnologia e interesse para obter uma vantagem operacional.

O capítulo 4 também resume a aplicabilidade futura da integração tecnológica e operacional em missões. Foi destacada a necessidade de adotar arquiteturas de missão abertas, redes de comunicação resilientes, inteligência artificial para autonomia tática, fusão de sensores, segurança cibernética robusta e interfaces de comando eficazes. Esses elementos apoiam a transição para uma força distribuída com múltiplos nós colaborando de forma sincronizada e segura para obter vantagem estratégica, em consonância com os princípios da DMO.

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação confirmou que a integração de MPA e UAS, quando operados de forma coordenada sob o paradigma de MUM-T, constitui uma evolução significativa nas arquiteturas de vigilância e resposta das operações navais modernas. O estudo demonstrou que essa combinação aprimora significativamente a consciência situacional sustentada por meio de plataformas de MPA, como o MQ-9B SeaGuardian e o MQ-4C Triton, mantendo cobertura persistente, e MPA, como o P-8A Poseidon, concentram-se em missões mais complexas que

exigem cognição humana. Esse tipo de arquitetura é uma prioridade crítica para nações que buscam fortalecer não apenas a vigilância de suas Linhas de Comunicação (LOCs) e Zona Econômica Exclusiva (ZEE), mas também maximizar a letalidade e a resiliência de suas forças navais.

O campo da integração entre MPA e UAS em DMO apresenta um vasto escopo para pesquisas futuras. As áreas prioritárias incluem o desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial para missões autônomas, estudos sobre a carga cognitiva de operadores em ambientes MUM-T multiplataforma e o projeto de interfaces de controle entre sistemas de diferentes fabricantes. Além disso, simulações de combate naval distribuído com múltiplos sensores de bordo, bem como o estudo do impacto legal e ético da autonomia letal em ambiente marítimo, são campos que requerem investigação aprofundada. A interoperabilidade multinacional, especialmente em coalizões navais e operações conjuntas, demanda atenção acadêmica e doutrinária. Ao explorar esses campos, pesquisas futuras podem contribuir decisivamente para o desenvolvimento de forças navais mais resilientes, letais e tecnologicamente preparadas para enfrentar os desafios do século XXI.

Em conclusão, esta dissertação reforça que a arquitetura MUM-T, quando estruturalmente integrada às DMO, pode oferecer vantagem estratégica para a futura força naval. A integração harmoniosa de plataformas tripuladas e não tripuladas, quando apoiada por redes seguras, autonomia inteligente e interoperabilidade, representa um passo decisivo na modernização da força naval. A combinação de sensores avançados, comando robusto e capacidade letal distribuída expande significativamente a consciência operacional, fortalece a capacidade de resposta e mitiga riscos em cenários altamente contestados. A transição para esta nova realidade exige um compromisso conjunto com a adoção de tecnologias maduras, IA totalmente operacional, treinamento sofisticado e mudanças doutrinárias. Por meio desses avanços e transformações, as marinhas modernas serão capazes de proteger os interesses nacionais, manter a superioridade no mar e garantir a execução bem-sucedida de todas as operações com segurança e eficiência.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. ***Airbus and European Partners Demonstrate Collaboration Between Helicopters and Unmanned Systems***. Toulouse, 16 out. 2024. Disponível em: https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2024-10/airbus_and_european_partners_demonstrate_collaboration_between_helicopters_and_unmanned_systems.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025.

AIRBUS. ***VSR700 Missions***. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/vsr700/vsr700-missions>. Acesso em: 8 jun. 2025.

AIRFORCETECHNOLOGY. ***Loyal Wingman Unmanned Aircraft***. [S.l.], 22 jun. 2023. Disponível em: <https://www.airforce-technology.com/projects/loyal-wingman-unmanned-aircraft/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

BOEING. ***P-8: A Proven Multi-Mission Maritime Patrol Aircraft***. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.boeing.com/defense/p-8-poseidon#overview>. Acesso em: 9 maio 2025.

COSTANZI, Riccardo et al. ***Interoperability Among Unmanned Maritime Vehicles: Review and First In-Field Experimentation***. Frontiers in Robotics and AI, Lausanne, v. 10, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7805912/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

CUSHMAN, Jeremiah. ***Ultra Maritime Teams With General Atomics to Enable Unmanned Airborne ASW***. Janes, 29 maio 2025. Disponível em: <https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/air/ultra-maritime-teams-with-general-atomics-to-enable-unmanned-airborne-asw>. Acesso em: 30 maio 2025.

DEFENCE.IN STAFF. ***India's MQ9B Drones to Free Up P-8I Aircraft for Critical Missions, Offering Affordable and Persistent Surveillance in IOR***. Defence.in, 20 nov. 2024. Disponível em: <https://defence.in/threads/indias-mq-9b-drones-to-free-up-p-8i-aircraft-for-critical-missions-offering-affordable-and-persistent-surveillance-in-ior.11824/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

DIRECTOR OPERATIONAL TEST AND EVALUATION. ***P-8A Poseidon Multi-Mission Maritime Aircraft***. Washington, D.C.: Department of Defense, 2013. Disponível em: <https://www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2013/navy/2013p8aposeidon.pdf>. Acesso em: 9 maio 2025.

ELBIT SYSTEMS. ***Autonomous Aerial Systems***. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.elbitsystems.com/autonomous/aerial>. Acesso em: 11 jun. 2025.

FILIPOFF, Dmitry. ***Distributed Maritime Operations: Solving What Problems and Seizing Which Opportunities***. Washington, D.C.: Atlantic Council, 2024. Disponível em: <https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2024/06/Distributed-Maritime-Operations-Solving-what-problems-and-seizing-which-opportunities.pdf>. Acesso em: 9 maio 2025.

FORCE. ***Futuristic flight***. [S.l.]: FORCE – National Security and Aerospace, [s.d.]. Disponível em: <https://forceindia.net/feature-report/futuristic-flight>. Acesso em: 9 maio 2025.

FRASER, Matt. ***Broad Area Maritime Surveillance: An Unmanned Solution for the Royal Canadian Air Force***. Niobe Papers, No. 9. Ottawa: Naval Association of Canada, mar. 2020. Disponível em: <https://www.navalassoc.ca/wp-content/uploads/2020/09/Fraser-Surveillance.pdf>. Acesso em: 31 maio 2025.

GENERAL ATOMICS AERONAUTICAL SYSTEMS, INC. ***MQ-9B Seaguardian Datasheet***. San Diego, [s.d.]. Disponível em: https://www.ga-asi.com/images/products/aircraft_systems/pdf/mq9b-seaguardian-datasheet.pdf. Acesso em: 9 maio 2025.

GONZALES, Daniel; HARTING, Sarah. ***Designing Unmanned Systems with Greater Autonomy Using a Federated, Partially Open Systems Architecture Approach***. Santa Monica: RAND Corporation, 2014. Disponível em: <https://paperzz.com/doc/7978969/designing-unmanned-systems-with-greater-autonomy?>. Acesso em: 11 jun. 2025.

IDRW STAFF. ***MQ9B Sea Guardians to Complement P-8I, Streamline IOR Operations***. Indian Defence Research Wing (IDRW), 13 dez. 2024. Disponível em: <https://idrw.org/mq-9b-sea-guardians-to-complement-p-8i-streamline-ior-operations/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

ISRAEL DEFENSE. ***Elta, BAE to develop Manned-Unmanned Teaming (MUM-T)***. Israel Defense, 4 set. 2023. Disponível em: <https://www.israeldefense.co.il/en/node/58794>. Acesso em: 26 jun. 2025.

LEE, Joong Yang. ***Expanded Kill Chain Analysis of Manned-Unmanned Teaming for Future Strike Operations***. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Naval Postgraduate School, Monterey, California. Disponível em: https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/43944/14Sep_Lee_Joong_Yang.pdf?sequence=1. Acesso em: 9 maio 2025.

MOLLOY, Oleksandra. ***Drones In Modern Warfare: Lessons Learnt from the War in Ukraine***. Occasional Paper No. 29. Canberra: Australian Army Research Centre, 22 out. 2024. Disponível em: https://researchcentre.army.gov.au/sites/default/files/241022-Occasional-Paper-29-Lessons-Learnt-from-Ukraine_2.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025.

NAVAL NEWS STAFF. **Boeing Demonstrates Open Autonomy Architecture for MUM-T With MQ-25**. Naval News, 15 set. 2022. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/09/boeing-demonstrates-open-autonomy-architecture-for-mum-t-with-mq-25/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

NAVAL TECHNOLOGY. **US Navy's Triton UAS – Poseidon's Perfect Partner**. Naval Technology, 9 nov. 2014. Disponível em: <https://www.naval-technology.com/features/featureus-navys-triton-uas-poseidons-perfect-partner-4429204/>. Acesso em: 9 maio 2025.

NAVAL TECHNOLOGY. **Sa'ar 6-Class Corvettes**. Naval Technology, 27 ago. 2020. Disponível em: <https://www.naval-technology.com/projects/saar-6-class-corvettes/?cf-view>. Acesso em: 24 jun. 2025.

NATO. **Dynamic Messenger**. NATO Maritime Command, [s.d.]. Disponível em: <https://mc.nato.int/missions/exercises/dynamic-messenger>. Acesso em: 11 jun. 2025.

NATO STANDARDIZATION OFFICE. **Allied Joint Publication 3.1: Allied Joint Doctrine for Maritime Operations**. Brussels: NATO, 2025. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/67f3b07d53505b2ca44efeed/AJP_3_1_Maritime_Ops_EdB.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.

NATO. **STANAG 4586: Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability**. Brussels: NATO Standardization Office, 2012. Disponível em: <https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/STO-EN-SCI-271/EN-SCI-271-03.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2025.

O'ROURKE, Ronald. **Navy Distributed Maritime Operations (DMO) Concept: Background and Issues for Congress**. Washington, D.C.: Congressional Research Service, 20 Nov 2024. Disponível em: <https://www.congress.gov/crs-product/IF12599>. Acesso em: 03 Jul 2025.

OLIVER, David. **Uncrewed Eyes Look East**. Asian Military Review, 22 jan. 2025. Disponível em: <https://www.asianmilitaryreview.com/2025/01/uncrewed-eyes-look-east/>. Acesso em: 9 jun 2025.

PANDEY, Dinesh Kumar (Gp Capt, Dr., Retd). **Manned-Unmanned Teaming: Enhancing Lethality**. New Delhi: Centre for Joint Warfare Studies (CENJOWS), out. 2024. Disponível em: <https://cenjows.in/wp-content/uploads/2024/10/15-Manned-Unmanned-Teaming-Enhancing-Lethality-by-Gp-Capt-Dr-DK-Pandey-Retd.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025.

PANDEY, Dinesh Kumar (Gp Capt, Dr., Retd). **MUMT v/s A2/AD: Exploring to Dominate in a Contested Environment**. Synergy, v. 2, n. 2, p. 128–142, set. 2023. Disponível em: <https://cenjows.in/wp-content/uploads/2023/10/Ch-06-Dinesh-Kumar.pdf>. Acesso em: 27 jun 2025.

ROSSETTI, Livio. ***Manned-Unmanned Teaming: A Great Opportunity or Mission Overload***. Joint Air Power Competence Centre (JAPCC) Journal, n. 29, p. 42–47, jan. 2020. Disponível em: <https://www.japcc.org/articles/manned-unmanned-teaming/>. Acesso em: 9 maio 2025.

SADEKAR, Deepankar. ***Remotely Piloted MQ-9B Aircraft: Design, Features, Specs & Operation***. [S.l.]: Team-BHP, 14 fev. 2024. Disponível em: <https://www.team-bhp.com/news/remotely-piloted-mq-9b-aircraft-design-features-specs-operation>. Acesso em: 9 maio 2025.

SAXENA, V. K. ***Unmanned Aerial Systems: Manned And Unmanned Teaming in India's Neighbourhood***. IMR Media, 9 abr. 2020. Disponível em: <https://imrmedia.in/army2020-unmanned-aerial-systems-manned-and-unmanned-teaming-in-indias-neighbourhood/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

SPENCER, Michael; SMALL, Gavin. ***MQ-4C Triton: A Fifth-Generation Air Force Disruption for Maritime Surveillance***. Canberra: Air and Space Power Centre, 2019. Disponível em: <https://airpower.airforce.gov.au/sites/default/files/2021-03/AP38-MQ-4C-Triton-A-Fifth-Generation-Air-Force-Disruption-for-Maritime-Surveillance.pdf>. Acesso em: 25 maio 2025.

TAKAHASHI, Kosuke. ***New Details on Japan's MQ-9B SeaGuardian Procurement for JMSDF***. Naval News, 6 dez. 2024. Disponível em: <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/12/new-details-on-japans-mq-9b-seaguardian-procurement-for-jmsdf/>. Acesso em: 25 maio 2025.

THE ASIA LIVE NEWS SERVICE. ***Indian Navy Advances Loyal Wingman Drone Development amid Carrier-Based Aircraft Delays***. The Asia Live, 13 fev. 2025. Disponível em: <https://theasialive.com/indian-navy-advances-loyal-wingman-drone-development-amid-carrier-based-aircraft-delays/2025/02/13/>. Acesso em: 8 jun. 2025.

UNITED STATES CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE. ***Usage Patterns and Costs of Unmanned Aerial Systems***. Washington, D.C.: CBO, 2021. Disponível em: <https://www.cbo.gov/publication/57090>. Acesso em: 9 maio 2025.

UNITED STATES DOT&E. ***MQ-4C Triton Broad Area Maritime Surveillance (BAMS)***, 2012. Disponível em: https://www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2012/navy/2012mq4c_bams.pdf. Acesso em: 9 maio 2025

UNITED STATES NAVY. ***Chief of Naval Operations Navigation Plan 2022***. Washington, D.C.: Office of the Chief of Naval Operations, jul. 2022. Disponível em: https://d34w7g4gy10iej.cloudfront.net/pubs/pdf_64582.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025